

## 가변형 썰기필터의 선량분포에 관한 특성

\*전북대학교 의과대학 의공학교실, †전북대학교병원 치료방사선과

김부길\*, 김진기†

방사선을 이용한 치료기인 의료용 선형가속기에 부착하여 선량분포 조절에 사용하는 가변형 썰기필터(virtual wedge)의 선량분포 특성을 분석하고 썰기각의 자료를 비교하여 가변형 썰기필터 적용에서 오는 선량분포의 변화를 알아보려고 하였다.

기준전리함인 단일채널 PTW-UNIDOS과 3차원 선량계측시스템인 RFA-7 그리고 실험적으로 구성된 다중채널 검출기의 특성실험을 통하여 선량분포도 및 썰기각을 구하고 이를 이용하여 실험적 검출시스템의 측정인자를 보정하였다.

가변형 썰기필터의 썰기각은 15°, 30°, 45° 에서 고정형 썰기필터에 비교하여 1° 이내로 안정하였고, 60° 경우는 6 MV에서 1.2°, 10MV 에서 2.2° 의 변화를 보였다. 측정에너지 영역 6, 10 MV 의료용 광자선을 적용하여 선량백분율과 빔평탄도 측정결과 검출기의 신뢰도가 평균 ±2.1 % 이내였다.

고정형 썰기필터를 이용한 썰기각 변화율방법 적용시 방사선치료 과정에서 나타나는 선량오차 및 정상조직의 피폭을 줄이고 장비의 과도한 부하를 감소시키며 가변형 썰기필터의 다양한 치료방법의 적용을 모색할 수 있었다.

가변형 썰기필터 이용과 측정된 선량분포의 특성 분석으로 기존 고정형 썰기필터 이용방법 및 기능을 보완하였고 실험적으로 구성된 계측시스템 측정장비의 대체방법 보정으로 가변형 썰기필터의 다양한 치료방법적용과 보조물 사용에 따른 정확성과 효율을 높이는데 유용하리라 사료된다.

**중심단어:** 가변형썰기필터, 선량분포, 썰지

### 서 론

방사선 치료의 궁극적 목표는 치료하고자 하는 병소에는 충분한 방사선량을 조사하여 극소적 완치율을 높이며 정상조직에 대한 조사량은 최소화하여 치료에 대한 부작용을 극소화시키는 데 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 최근 주목받고 있는 것은 여러 방향에서 바라본 병소부위 모양을 따라 방사선조사면을 만들고 각각의 방향으로 방사선을 조사하는 3차원 입체조형 방사선 치료이다. 이러한 3차원 입체조형 방사선치료를 시행할 때 조사표면의 굴곡이나 종양의 형태에 따라서 선량분포를 조절하는 방법은 보상체를 사용하거나 방사선의 조사량을 부분적으로 조절하는

방법을 적용할 수 있다. 이를 보완하기 위해 다엽 콜리메이터나 빔 세기 조절방법을 사용하여, 또는 특수한 차폐물을 위치함으로써 방사선 조사경로의 그 등 선량 분포에 변화를 주고 있다<sup>1-4)</sup>. 특수한 차폐물로는 썰기 형태의 상용화된 차폐물을 사용하기도 하는데 이러한 상용적인 보편형의 썰기를 이용하여 방사선 조사중 특수한 차폐물을 사용하거나 사용하지 않는 경우를 병용하여 조사시간을 조절함으로써 원하는 임의의 특수 차폐효과 및 등선량분포에 변화를 줄 수가 있다. 최근에는 이러한 효과를 적용하기 위해서 방사선 치료기기내 부착하여 원격으로 조정되거나 컴퓨터를 통해 비대칭 콜리메이터의 동작 시간을 제어하는 형태의 기법이 선보이고 있다<sup>5-8)</sup>. 이러한 기법 중 가상썰기필터 이용 기법은 이론상 비대칭적인 콜리메이

터에 의해서 등선량분포곡선이 변하는 것이므로 조직 내 방사선량분포에 있어서 고정 썬기와는 달리 방사선량의 감쇄 현상이 없고, 산란선이 적으며, 깊이에 상관없이 비교적 직선적인 썬기 각도선을 만드는 등 기존의 고정 썬기에 비해 유용할 것으로 보고되고 있다<sup>9,10</sup>. 이러한 정교한 방사선 치료방법을 위하여 개발되는 보조기구들의 사용에 따라 방사선치료에 있어서는 방사선이 종양부위에 정확히 조사 되어야함은 물론 종양에 도달하는 방사선량이 정확하여야 한다.

현재 이용되고 있는 방사선 측정방법은 단일 선량 측정기로 특정위치에 대한 선량을 반복 측정하거나 특정 기준선을 반복 이동하면서 조사깊이나 조사면에 대한 선량분포 정보를 얻기 때문에 조사면에서의 정보를 얻기 위해서는 모든 조사면 크기에 대한 방대한 측정이 수반되어야 한다. 또한 장시간 사용에 따른 기계의 부하, 시간 및 인력, 에너지 낭비가 따른다. 그리고 가변형 썬기필터 등 부가적인 장치의 사용에 필요한 방사선 측정은 매우 어렵다. 따라서 이와 같은 문제성 및 대체 방법 모색의 필요성 때문에 다중채널 선량계측시스템에 대한 연구가 요구된다 하겠다.

방사선을 이용한 암치료기인 의료용 선형가속기에 부착하여 선량분포 조절에 사용하는 가변형 썬기필터의 선량계측 및 기존 썬기필터 기능을 보완하고, 고가의 수입 측정장비를 국산화하기 위한 기초자료 축적 및 기존 측정시스템으로 대체하는 방법이 모색되어야 할 것이다.

## 재료 및 방법

### 1. 방사선량 측정기 특성검토

인체내에 종양에 도달하는 방사선량을 측정하는 방법으로 현재까지 시도되고 있는 것으로는 이온전리함, 다이오드 측정기, 열형광선량계 등을 이용하여 팬텀내에서 또는 인체내에 부분적으로 삽입하여 측정하는 방법을 사용하고 있다. 이온 전리함의 경우는 방사선을 조사하고 이온함에 축적된 전하량을 전기계를 이용하여 측정한 후 이를 기온 및 기압 등 보정 인자에 따라 방사선량으로 환산하는 방법이 이용되고 있다. 반도체 검출기는 계측용적인 선량계측에 많이 사용되고 있는 공기전리함의 용적에 비해 매우 소형으로 공간분해능이 우수하며 방사선 감도가 공기전리함

에 비해 높은 것으로 알려져 고에너지 광자선 및 전자선의 선량계측에 많이 이용되고 있다<sup>11,12</sup>.

본 연구의 선량증가영역의 선량분포의 측정은 공간분해능이 높아야 하기 때문에 전술한 반도체 검출기의 특성을 고려하여 이에 적합한 반도체 검출기(Scanditronix p-Si detector, 스웨덴)을 가지고 측정의 재현성을 얻고자 하였다. 흡수선량을 검증을 위한 기준선량계로는 전리함(PW-W30004, 0.6cc, PTW, 독일)을 이용하였다.

### 2. 계측시스템 및 센서신호처리

선량계측시스템을 다중채널화하기 위하여 multiplex의 기초기술을 이용한 검출기 출력의 기초 증폭회로가 이용되었다. 선량계측시스템의 초기모델의 신호처리수를 8채널까지 확장하여 처리하였다. 검출기의 출력을 증폭하고 검출된 자료를 8bit ADC로 변환하여 1-8채널을 채널별로 선택적으로 동시측정이 가능하도록 데이터 처리프로그램을 이용하였다.

검출기 출력이 미약하므로 전류증폭회로에서 100배로 증폭한 후 전류-전압 증폭회로를 이용하여 미소 전류를 전압으로 변환하였다. 기본적으로 반전증폭의 입력단자에 유입하는 전류가 제한 저항에 흐르는 것을 응용한 전류-전압 변환회로이다. 높은 증폭율을 얻기 위한 제한 저항은 안정성이 좋은 고저항이 필요하다기 때문에 제한 루프에 분압기를 넣어 등가적으로 고저항이 되게 하였다. 단 드리프트도 함께 확대되기 때문에 op-amp의 선정때 저 드리프트 op앰프를 사용하였다. 분압회로의 저항값은 제한 저항값에 비해 아주 작은 값으로 하지 않으면 오차로 되기 때문에 신중히 선택하여야 한다. op-amp는 가급적 입력 바이어스전류가 작은 것을 사용해야 하는데 바브라운사의 FET-OP AMP 3528BM을 사용하였으며 바이어스 전류에 의한 오프셋 전압분을 비반전 입력측에서도 만들어 입력함으로써 거의 상쇄시킬 수 있다.

A-D 컨버터의 IC는 입력부에 멀티플렉서를 내장한 멀티 입력형으로 8채널 입력의 멀티플렉서와 8비트 출력의 A-D 컨버터를 조합한 A-D 컨버터인 ADC0809(내셔널 세미컨덕터사)를 사용하였다. 구성된 시스템의 데이터 처리 프로그램은 델파이를 이용하여 개발되었고 프린터 포트를 제어하는 모듈은 어셈블러를 이용하였다. 컴퓨터의 프린터 포트를 이용하여 시

시스템의 데이터를 수집하여 저장하였다. 채널을 선택한 후 래치 시키고 A-D 컨버터의 변환개시 신호를 가하였다. A-D 변환의 종료는 A-D 컨버터의 EOC 신호를 검출하여 3 스테이트 버퍼 출력의 A-D 변환 출력을 입력받았다. 데이터 처리 프로그램은 각각의 채널을 독립적으로 선택할 수 있도록 하였으며 측정된 자료의 선량, 선량율, PDD, 등 실제 방사선치료에서 자주 이용하는 데이터를 분석할 수 있게 구성하였다. 또한 측정 데이터를 텍스트 파일로 저장하여 치료계획 컴퓨터에서의 빔 데이터로 이용할 수 있도록 하였다.

### 3. 빔 평탄도 및 선량분포 측정

의료용 선형가속기에서 발생하는 광자선속 6, 10 MV에 대하여 심부선량분포도를 균일한 조직 조건에서, 구성된 다중채널 선량계측시스템과 p-Si 반도체 검출기(sensitive volume 0.25 mm<sup>3</sup>, 유효측정점 0.54 mm)로 구성된 프로토타입 시스템과 이를 상용화된 스캔 시스템(RFA-7, 스웨덴)에 적용할 수 있도록 측정기 배열 아답터, 평판형 팬텀 등을 제작하여 기준선량계측시스템(PTW-UNIDOS-W30004, PTW, 독일)을 이용하여 비교 측정하였다. 측정에 사용된 스캔시스템은 3차원 물팬텀(51.2x51.2x51.2 cm), 선량측정 조절장치로 구성되어 있으며, 팬텀의 상단부에는 검출기의 위치를 3차원적으로 정확하게 원격 제어할 수 있는 전자식 전동시스템이 장착되어 있다.

투과력이 다른 광자선속 각각에 대하여 일정 조사면 깊이 에 따른 심부선량분포를 측정하였다. 심부선량분포의 측정과 함께 1.5, 5, 10, 20 cm 깊이에서 선속에 수직으로 빔평탄도를 측정하였으며, 10 cm 깊이에서 가변형 썬기 필터에 대한 빔평탄도를 측정하여 썬기각을 비교하였다.

### 결과 및 논의

방사선을 이용한 암치료기의 방사선 선량분포도 측정 및 다양한 치료방법의 정도관리를 위하여 신호처리 6 채널의 반도체 검출기, 검출에너지 6 와 10 MV, 다중채널 A/D변환 방법의 신호처리로 계측시스템의 방향성과 이동성, 빔 평탄도 및 선량분포측정의 적용도를 조사하였다.

검출기의 출력을 증폭하고 검출된 자료를 8bit ADC(ADC8017)로 변환하여 1-8채널을 채널별로 선택적으로 동시측정이 가능하도록 데이터처리 프로그램을 이용하였다. 다중채널 선량계측 시스템을 방사선 기기에 대한 정도관리 적용을 검토하기 위하여 Fig.1. 과 Fig.2.에서 보이는 것처럼 RFA-7의 3D 팬텀에 적용가능한 검출기 배열용 아답터와 2D 스캔용 평판형 팬텀을 제작하여 측정에 이용하였다. 이용된 6 채널의 반도체 검출기 EDD-5 (Scanditronix, Commercial, Hi-pSi p-type Silicon)의 방향성은 측방향성이 3% 이내 였고 45° 경사각에 대한 방향성은 4% 이내로 나타났다. 검출기 임피던스는 0 V 에서 350 MΩ 이상이였다.



Fig. 1 QA Tools & Array Adapter

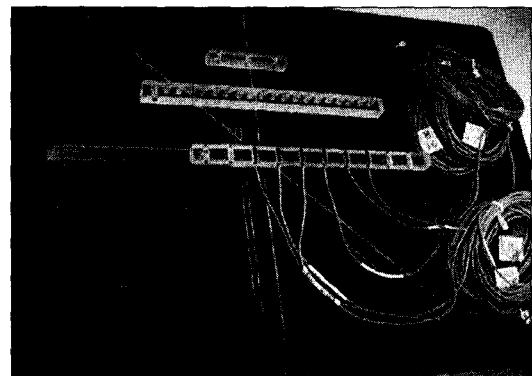


Fig. 2 QA Tools & Plate Adapter

Relative Dose (%)

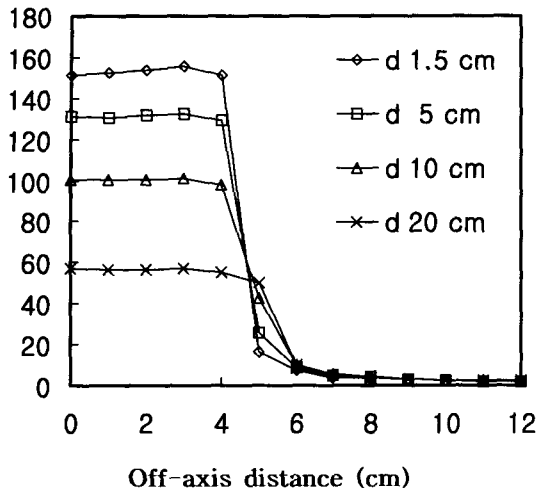


Fig. 3. Measured beam profile for 6 MV photon beam in field size 10x10 cm<sup>2</sup>

Relative Dose (%)

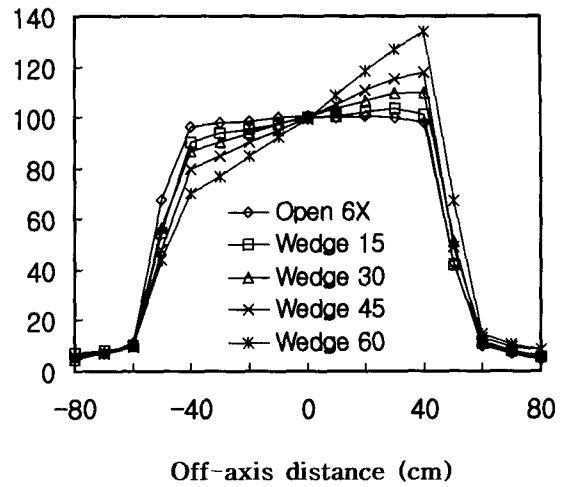


Fig. 5. Measured beam profile for 6 MV photon beam in wedge field size 10x10 cm<sup>2</sup>

Relative Dose (%)

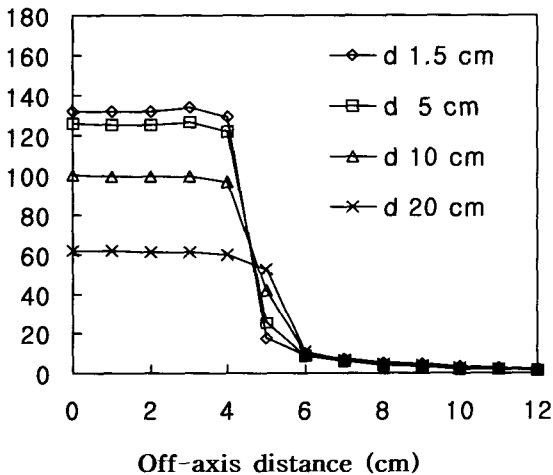


Fig. 4. Measured beam profile for 10 MV photon beam in field size 10x10 cm<sup>2</sup>

Relative Dose (%)

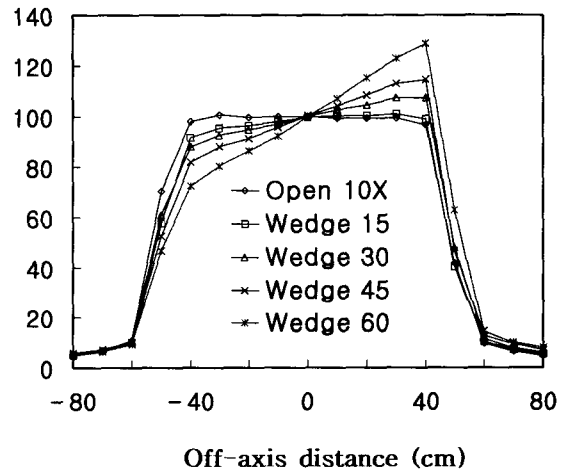


Fig. 6. Measured beam profile for 10 MV photon beam in wedge field size 10x10 cm<sup>2</sup>

측정에너지 영역 6, 10 MV 의료용 광자선을 적용하여 선량백분율과 빔평탄도는 Fig.3.과 Fig.4.에 나타난 측정결과처럼 검출기의 신뢰도가 평균 ±2.1 % 이내였다.

방사선 조사중 보편적인 고정형 썬기를 사용하거나 사용하지 않는 경우를 병용하여 조사시간을 조절함으로써 원하는 임의의 특수 차폐효과 및 등선량분포에 변화를 줄 수가 있다. 이러한 효과를 적용하기 위해서 비대칭 콜리메이터의 동작 시간을 제어하는 기법이

선보이고 있다. 이러한 기법 중 가상썬기필터 이용 기법은 이론상 비대칭적인 콜리메이터에 의해서 등선량분포곡선이 변하는 것이므로 조직내 방사선량분포에 있어서 고정형 썬기필터와는 달리 방사선량의 감쇄 현상이 없고 Fig.5.와 Fig.6.에서처럼 측정결과 비교적 직선적인 썬기각으로 다양한 썬기각을 만드는 조사방법의 다양성에 유용할 것으로 사료된다. 대상환자의 방사선치료시에는 인체내의 종양부위를 정확히 정의하고 정해진 부위에 정확한 양의 방사선이 조사 되도록

Table 1. A comparison of virtual wedge angle measured at 100 cm SSD, depth 10 cm.

Virtual Wedge Angle	6 MV	10 MV
15°	15.80°	15.88°
30°	30.03°	29.63°
45°	45.03°	44.80°
60°	61.20°	62.21°

록하여 치료효과를 극대화하고 기타 정상조직 부위에 조사되는 방사선의 양을 최소화함으로써 부작용을 극소화하는 것이 필수적이다. 이때 신체의 굴곡, 인체내 조직의 균일하지 않은 방사선 흡수특성에 따른 방사선 감쇄의 다양성, 종양형태의 부정형, 방사선치료방법의 한계 등으로 인하여 종양부위에 균일하게 원하는 양의 방사선이 도달하는 것이 불가능한 경우가 많다.

이러한 원인으로 인하여 발생하는 종양내 선량분포의 불균일성은 현실적으로 5% 까지 변화를 허용하고 있다. 이러한 요소 이외에 방사선치료기기의 방사선출력의 부정확성, 방사선량 측정 data의 오차 및 data양의 한계, 방사선량 계산의 오차 등으로 인하여 조사되는 방사선량의 불확실성이 증가된다. 이러한 오차 등으로 인하여 방사선 치료시 종양에 조사되는 방사선의 양은 목표량으로부터 3% 내외의 오차를 허용하고 있다. 이를 최소화하기 위한 프로그램이 각 병원 단위에서 이루어지며, 동시에 병원 내에서 발견이 거의 불가능한 체계적 오류(systematic error) 여부를 확인하기 위하여 지역적으로, 국가적으로 또는 국제적으로 정도 관리를 시행하는 프로그램이 IAEA(international Atomic Energy Agency) 등 여러 기관에 의하여 개발되고 적용되고 있다. 그러나 이러한 정도관리 프로그램은 방사선을 환자에 조사 치료함에 있어서 발생할 수 있는 체계적 오차에 주안점을 두고 있으며 실제 환자치료 시 발생할 수 있는 방사선 발생장치의 출력 변동이나 방사선치료기기 조작의 오류에 의하여 과다 또는 미흡한 양의 방사선이 조사되는 위험이 있다. 이러한 여러 가지의 예측 가능한 오차 및 예측 불가능한 오류의 발생여부를 확인하고 정확한 방사선량을 조사하기 위하여 치료방법에 따른 정확한 선량측정 및 정도관리가 필요하다고 하겠다.

방사선 치료시 일반적으로 사용되는 최대 조사야

의 크기는 40X40 cm<sup>2</sup> 이다. 다중채널선량계측 시스템으로 실제 환자치료에 사용되는 조사야 크기를 모두 포함하면서 선량 측정의 정확도를 향상시키기 위해서는 시스템의 채널수를 64 채널까지 확대하여야 할 필요성이 있다. 구성된 다중채널 선량계측 시스템이 범용 측정기로 적용하려면 측정기의 생명인 정밀도를 향상시키기 위해서는 검출기 출력의 증폭부에 정밀부품사용 및 회로개선을 통하여 저 드리프트화, 저 노이즈화하여 고신뢰도의 증폭회로가 사용되어야 한다.

본 연구에서 구성한 가변형 썬기필터의 선량측정 시스템의 방사선치료의 정도관리, 다중채널 선량측정 시스템 및 검출기 신호증폭기술, 데이터 처리 알고리즘 등은 방사선치료 주변기기 개발에 응용되는 연구로서 향후 방사선 측정 장비 및 방사선 정도관리 연구에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

## 결 론

방사선 조사중 보편적인 고정형 썬기를 사용하거나 사용하지 않는 경우를 병용하여 조사시간을 조절하거나, 비대칭 콜리메이터의 동작 시간을 제어하는 방법으로 원하는 임의의 특수 차폐효과 및 등선량분포에 변화를 줄 수가 있다. 이러한 효과를 적용하기 위해서 가변형 썬기필터 이용에 따른 선량분포도 및 썬기각을 구성한 측정시스템을 통하여 확인할 수 있었다. 이론상 비대칭적인 콜리메이터에 의해서 등선량분포곡선이 변하는 것이므로 조직내 방사선량분포에 있어서 고정형 썬기필터와는 달리 방사선량의 감쇄현상이 없고 측정결과 비교적 직선적인 썬기각, 다양한 썬기각도를 이용하거나 가변율을 조합하는 방법등 조사방법의 다양성에 유용할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Leavitt DD, Martin M, Moeller JH, Lee WL.: Dynamic wedge field techniques computer controlled collimator motion and dose delivery. *Med. Phys.* 17:87-91 (1990)
2. Slessinger ED, Gerber RL, Harms WB, Klein EE, Purdy JA.: Independent collimator dosimetry for a dual photon energy linear accelerator. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 27:681-687 (1993)
3. Klein EE, Low DA, Meigooni A., Purdy JA.: Dosimetry and clinical implementation of dynamic wedge. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 31:583-592 (1995)
4. Lydon JM, Rykers KL.: Beam profiles in the nonwedged direction for dynamic wedges. *Phys. Med. Biol.* 41:1217-1225 (1996)
5. Convery DJ, Rosenbloom ME.: The generation of intensity-modulated fields for conformal radiotherapy by dynamic collimation. *Phys. Med. Biol.* 37:1359-1374 (1992)
6. Leavitt DD, Larsson L.: Evaluation of a diode detector array for measurement of dynamic wedge dose distribution. *Med. Phys.* 20:381-382 (1993)
7. Zwicker RD, Shahabi S, Wu A, Sternick ES.: Effective wedge angles for 6MV wedges from medical linear accelerators. *Med. Phys.* 12:347-349 (1985)
8. Williamson JF, Khan FM, Sharma SC.: Film dosimetry of megavoltage photons beams-A practical method of isodensity to isodose curve conversion. *Med. Phys.* 8:94-98 (1981)
9. Kijewski PK, Chin LM, Bjarngard BE.: Wedge-shaped dose distributions by computer-controlled collimator motion. *Med. Phys.* 5:426 (1987)
10. Cross P, Joseph DJ, Cant J, Cooper SG, Denham JW.: Tangential breast irradiation: simple improvements. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 23:433-442 (1992)
11. Grusell, E. and Rikner, G.: Evaluation of temperature effects in p-type silicon detectors. *Phys. Med. Biol.* 31:527-534, 1986.
12. Rikner, G., Grusell, E.: General specifications for silicon semiconductors for use in radiation dosimetry. *Phys. Med. Biol.* 32:1109-1117 (1987)
13. Khan FM, Potish RA. *Treatment Planning in Radiation Oncology*. Williams & Wilkins, pp 187-213 (1998)

## Characteristics of dose distribution for virtual wedge

Bu-Gil Kim\*, , Jhin-Kee Kim<sup>†</sup>

*\*Dept. of Biomedical Engineering, Medical School, Chonbuk Nat'l University*

*†Dept. of Radiation Oncology, Chonbuk Nat'l University Hospital*

We investigate the dosimetric characteristics of the virtual wedge and compare it to the conventional fixed wedge. Also we evaluate the quality factor of the experimental multi-channel dosimetry system for virtual wedge. Recently virtual wedge technique and wedge fraction methods are available through the computer controlled asymmetric collimator or the independent jaw in medical linear accelerator for radiation therapy.

The dosimetric characteristics are interpreted by radiation field analyzer RFA-7 system and PTW-UNIDOS system. Experimental multi-channel dosimetry system for virtual wedge consists of the electrometer, the solid detector and array phantom. The solid detectors were constructed using commercial diodes for the assessment of quality assurance in radiotherapy. And it was used for the point dose measuring and field size scanning.

The semiconductor detector and ion chamber were positioned at a  $d_{max}$ , 5 cm, 10 cm, 20 cm depth and its specific ratio was determined using scanning data. Wedge angles in fixed and virtual type are compared with measurements in water phantom and it is shown that the wedge angle  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  were agree within  $1^\circ$  degree in 6, 10 MV photon beams. In PDD and beam flatness, experimental multi-channel dosimetry system was capable of reproducing the measured values usually to within  $\pm 2.1\%$  the statistical uncertainties of the data.

It was used to describe dosimetric characteristics of virtual wedge in clinical photon beams. Also we evaluate optimal use of the virtual wedge and improve the quality factor of the experimental multi-channel dosimetry system for virtual wedge.

**Key words :** Virtual wedge, wedge angle, multi-channel dosimetry system